

# VELOCITY DETECTION CONTROL DEVICE

Publication number: JP9113528

Publication date: 1997-05-02

Inventor: YAMAMOTO YASUHIRO

Applicant: MEIDENSHA ELECTRIC MFG CO LTD

Classification:

- International: G01P3/489; G01P13/00; G01P3/42; G01P13/00; (IPC1-7): G01P3/489; G01P13/00

- european:

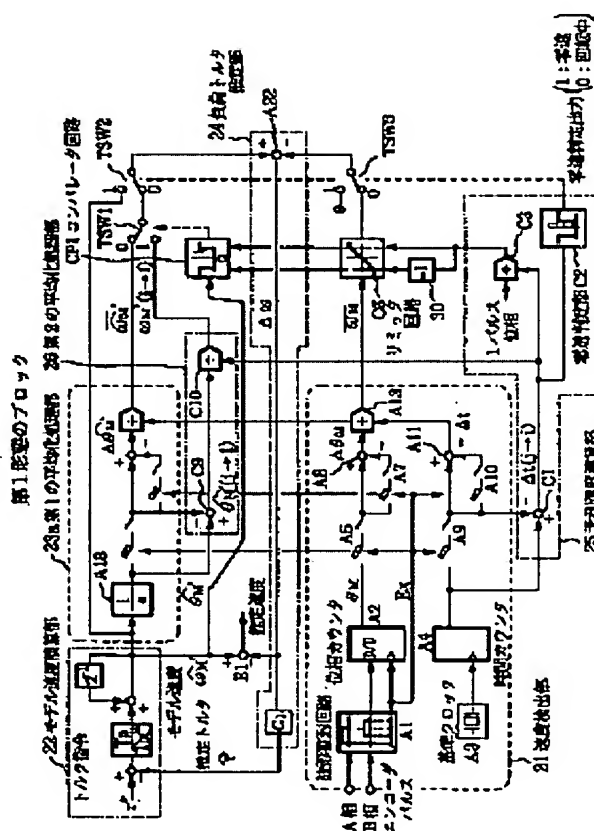
Application number: JP19950270759 19951019

Priority number(s): JP19950270759 19951019

Report a data error here

## Abstract of JP9113528

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To make early start the compensating operation so as to stabilize the operation even in a range of remarkably low velocity and a velocity-zero judged range. **SOLUTION:** Rotary phase of a rotary shaft of a motor is detected, and the phase thereof and the time of generation are latched, and velocity is detected by a velocity detecting unit 21 on the basis of a phase difference and a time difference between the latch data of this time and the last time. On the other hand, a model velocity is computed by a model velocity computing unit 22 on the basis of a difference of the torque command and the torque estimation, and a mean value of this model velocity computing output is computed by a meaning unit 23a in a period corresponding to the time difference latched by the velocity detecting unit 21. The mean value of the model velocity from the first meaning unit 23a and a second meaning unit 26 are switched by a comparator circuit CP1 in response to the model velocity, and subtracted from the velocity detection output from the velocity detecting unit 21, which is passed through a limiter circuit C5, and the torque estimation output is obtained by a load torque estimating unit 24 on the basis of a difference between the mean value and the velocity detection output.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

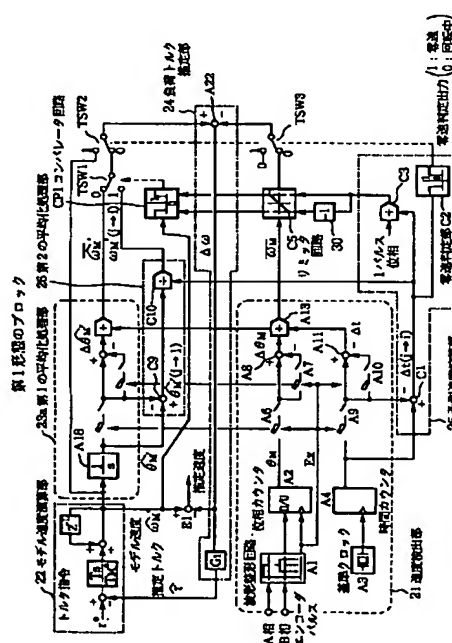
(43)公開日 平成9年(1997)5月2日

D  
B

審査請求 未請求 請求項の数2 OL (全 13 頁)

(74)代理人 弁理士 志賀 富士弥 (外1名)

【解決手段】 電動機の回転軸から回転位相を検出し、その位相と発生時刻をラッチして、前回のラッチデータとの位相差と時間差により速度検出部 21 で速度検出を行う。一方、トルク指令とトルク推定との差からモデル速度演算部 22 でモデル速度を演算し、このモデル速度演算出力の平均値を前記速度検出部 21 でラッチした時間差の期間だけ第 1 の平均化処理部 23 a で演算する。この第 1 の平均化処理部 23 a と第 2 の平均化処理部 26 からのモデル速度の平均値をモデル速度に応じてコンパレータ回路 CP1 で切り替えて前記速度検出部 21 からのリミッタ回路 C5 を通った速度検出出力で減算し、その差からトルク推定出力を負荷トルク推定部 24 で得る。



(2)

特開平9-113528

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 電動機と、この電動機の回転軸に取り付けられたエンコーダと、このエンコーダからの出力パルスのカウントして回転位相を検出し、エンコーダの出力パルスから位相と発生時刻をラッチして前回のラッチデータとの位相差と時間差により速度検出を行う速度検出部と、トルク指令とトルク推定との差である加速トルクと負荷の慣性による機械時定数によりモデル速度を演算するモデル速度演算部と、このモデル速度演算部からのモデル速度出力が供給され、このモデル速度出力の平均値を前記速度検出部でラッチした時間差の期間だけ演算する第1の平均化処理部と、この第1の平均化処理部からのモデル速度の平均値と前記速度検出部からの速度検出出力との差を入力し、その要素の出力にトルク推定出力を送出する負荷トルク推定部とを備えた可変速駆動装置において、

前記エンコーダからの出力パルスが発生しないとき、最終発生パルスの時刻と現在時刻との期間におけるモデル速度出力の平均値を演算する第2の平均化処理部と、前記エンコーダからの出力パルスが発生しないとき、エンコーダの1パルス相当の位相差を最終発生パルスの時刻と現在時刻の差の時間で除算して予測速度を演算する予測速度演算部と、前記速度検出部からの速度検出出力が供給され、前記予測速度演算部からの予測速度により、前記速度検出出力を一定の範囲内に保持するリミット回路と、このリミット回路のリミット範囲と同じ範囲に設定され、前記モデル速度演算部からのモデル速度出力が設定値より大きいことを検出するコンパレータ回路と、このコンパレータ回路の出力が生じたときに、前記第1の平均化処理部の平均値出力を第2の平均化処理部の平均値出力に切り替える第1の切り替えスイッチと、この第1の切り替えスイッチにより切り替えられる平均値出力と前記モデル速度演算部出力および前記リミット回路からの出力と零速度を前記予測速度演算部に設けられた零速判定部からの零速判定出力により切り替えて前記負荷トルク推定部に入力する第2および第3の切り替えスイッチと、前記モデル速度演算部からのモデル速度と前記負荷トルク推定部に入力された差出力との減算から推定速度を得る減算部とを備えてなることを特徴とする速度検出制御装置。

【請求項2】 前記コンパレータ回路は前記減算部から得られた推定速度出力に応じて切り替えられることを特徴とする請求項1記載の速度検出制御装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、誘導機のベクトル制御装置に係わり、特にロータリーエンコーダ等のパルス発生器を利用した速度検出方式において、回転速度が極低速域での運転が可能な速度制御装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】現在では、ディジタル演算器が高性能に構成されるようになってきたため、モータ及び負荷の機械系のモデルを制御演算器の内部に持って、モデルの挙動を演算することができるようになってきている。このため、上記演算器の高性能化により、可変速駆動装置を用いて電動機を速度制御する用途において、負荷急変時の速度低下を抑制するインパクトドロップ補償が、例えば鉄鋼の圧延設備などで実施されるようになって来ている。

【0003】この制御原理として、モデルの速度と検出速度とから負荷トルクを推定する負荷トルクオブザーバが提案され、現在盛んに使用されている。負荷トルクオブザーバに関しても、種々な方式が提案されているが、以下最小次元負荷トルクオブザーバを使用した例で説明する。この負荷トルクオブザーバの原理ブロック図を図3に示す。また、この負荷トルクオブザーバを発展させ、ロータリーエンコーダのパルス間隔が速度制御周期より長くなるような極低速域を改善する速度オブザーバの方式も提案されている。この速度オブザーバの制御ブロック図を図4に示す。

【0004】前記負荷トルクオブザーバは速度検出データとモデル速度を比較しているが、極低速域では、ロータリーエンコーダの発生するパルス周期が非常に長くなり、制御周期毎にパルスが発生しない期間がでてくるため、速度検出データが連続して得られなくなってしまう。このような間欠的な速度検出条件では、トルクオブザーバの演算自体が停止してしまい、システム全体も正常に動作しなくなる。このような極低速域での対策は論文などにもいまだ発表されていない。

【0005】まず、エンコーダパルスを用いた速度検出方式の原理について述べるに、図5に示すロータリーエンコーダを使用した速度制御系について考える。図5において、11は速度指令と速度検出との偏差を採る偏差器で、この偏差器11の偏差出力を速度制御部12を介してモータドライバ13に供給する。14はモータドライバ13により駆動されるモータである。15はモータ14の速度を検出するロータリーエンコーダで、このロータリーエンコーダ15が出力する2相エンコーダ信号は速度演算部16に供給される。速度演算部16の出力には速度検出信号が得られる。

【0006】速度演算部16は図6に示すように構成されていて、そのタイミングチャートは図7のようになる。なお、2相エンコーダ信号は図7(a)、(b)に示すように90°位相差のある方形波である。図6において、A1はロータリーエンコーダの2相パルス信号PPA、PPBの波形整形を行い、パルス信号の立ち上がり、立ち下がりがエッジの時刻(j)にエッジトリガ信号EDGを発生する波形整形回路である。また、この波形整形回路A1はパルスのエッジの種類を判定し、正転、反転に対応した位相カウンタA2のアップ、ダウン制御

(3)

特開平9-113528

信号D/Uも出力する。この波形整形回路A1から出力されるエッジトリガ信号により位相カウンタA2はロータリーエンコーダの回転位相に相当してアップ、ダウンする。A3は時間を計測するための基準クロック信号発生部で、この発生部A3で得られた基準クロック信号は基準時刻カウンタA4と速度制御周期タイマA5に供給される。この基準時刻カウンタA4は基準クロック信号発生部A3の信号をカウントアップして、時刻を出力する。また、速度制御周期タイマA5は速度演算ルーチンの開始信号を発生し、速度演算周期 $T_s$ 毎にサンプリング（以下サンプルと称す）トリガ(i)を出力するものである。

【0007】A6はサンプルトリガ(i)の直前のパルスエッジ(j)での位相角を保持する第1ダブルラッチ、A7は前回のサンプル(i-1)の直前のパルスエ

$$\omega_m(j-1 \rightarrow j) = \{\theta_m(j) - \theta_m(j-1)\} / \{t(j) - t(j-1)\} \quad \dots\dots (1)$$

$\omega_m(j-1 \rightarrow j)$ : 検出速度

$\theta_m(x)$ : xのエンコーダエッジの発生時の回転位相角

$t(x)$ : xのエンコーダエッジの発生時の時刻

本来は、(1)式の演算はパルスエッジ(j)が発生した直後に演算が可能であるが、実際には速度検出結果を利用して速度制御演算を行うのは、タイマA5の $T_s$ の時間周期（サンプル時刻をiで示す）毎に実行する図7の符号B1で示した速度制御演算ルーチンにおいてである。そのため、実際にはパルスの発生時刻ではなく、サンプル時刻(i)から始まる速度制御ルーチンの先頭（図7の符号B2で示す）で速度演算が行われている。

【0009】また、計測パルスの選択に関しては、速度検出の精度のためにはできるだけパルス間隔を広く取る必要があり、かつ、検出時間遅れも少なくするために(i-1)の直前のパルスエッジ（ここでは(j-1)と定義する）と、(i)の直前のパルスエッジ(j)と定義する）とを使用するとよい。このように、サンプリング周期の直前の(j)のデータをラッチする方式をブロック図で記述するため、図6に符号A6で示すようなダブルラッチの記号を使用した。図6において、SW1はエッジの発生周期毎にラッチし、次のパルスエッジまで値を保持し、これをさらにSW2により(i)の時刻でラッチすることにより、前述の(i)の時刻の直前のパルスエッジのデータを選択してラッチすることが可能となる。なお、図6ではラッチタイミングの種類を判別しやすくするために、異なったラッチの記号で記述しているが、どちらもデータ保持としての機能は同じである。

【0010】次に極低速域のロータリーエンコーダの出力パルスについて述べる。ある程度の速度から速度が低下し、零速度に到達する場合のタイミングチャートを図8に示す。ロータリーエンコーダの出力パルスは、速度が低下するにつれて間隔が長くなり、零速になるとパル

ス(j-1)での位相角を保持する第2ダブルラッチである。A8は第1、第2ダブルラッチA6とA7のサンプル値を減算して{(j-1), (j)}間の位相差を求める第1減算器である。A9はサンプル(i)の直前のパルスエッジ(j)の発生時刻をラッチする第3ダブルラッチ、A10は前回のサンプル(i-1)の直前のパルスエッジ発生時(j-1)の時刻をラッチする第4ダブルラッチである。A11は第3、第4ダブルラッチA9とA10のサンプル値を減算し、{(j-1), (j)}間の時間差を計算する第2減算器である。A13は除算器で、第1減算器A8の出力位相差を、第4減算器A11の出力時間差で除算することにより、速度検出値を出力するものである。なお、除算器A13の演算は、次の(1)式により行われる。

【0008】

スが発生しなくなる。ここで、サンプル間隔とパルスの有無により図8は3種類の領域に分類できる。

【0011】分類1（正常動作）：エンコーダパルスjがサンプル周期間 $T_s$ 毎に常に発生している場合、この場合は、速度検出がサンプル毎に検出可能である。

【0012】分類2（極低速域）：分類1と次の分類3との間には、サンプル周期毎にはパルスが発生しないが、 $T_{max}$ 以内には次のパルスが発生する条件が存在する。この場合は、極低速で回転していると判断する。

【0013】分類3（零速域）前回のエンコーダパルスの発生時刻から、 $T_{max}$ の設定時刻より長い間次のパルスが発生しない場合、この場合は前記(1)式の速度演算を中止し、速度検出値を零に設定する。

【0014】前述した負荷トルクオブザーバの方式は、上記分類の内（分類1）の期間のみしか正常に動作できない。そのため、サンプル周期間にパルスが発生せず速度検出ができなければ、負荷トルクオブザーバの値は更新されず前回値がずっと保持されたままになる。このような従来方式の負荷トルクオブザーバの構成を図9に示す。この図9は図3の負荷トルクオブザーバと図6の速度検出方式とを組み合わせたものである。図9において、21は速度検出部、22はモデル速度演算部、23は平均化処理部、24は負荷トルク推定部である。速度検出部21は図6に示す速度検出方式に次の構成要件が追加されたものである。

【0015】零速判定部A12、切り替えスイッチA14及びSRラッチA15を追加する。零速判定部A12は、第4減算器A11の出力である時間差が設定零速検出期間 $T_{max}$ 以内に制限するリミットLIMと、 $T_{max}$ をオーバーした場合にはZ(j-1→j)の零速検出信号を“1”にするコンバータCOPとで構成される。なお、リミットLIMは前記(1)式の分母がオーバーフローしないように制限するものである。切り替えスイッチA14は、零速判定部A12のコンバータCOPの出力

(4)

特開平9-113528

Z(j-1→j)が”1(零速検出)”の場合、除算器A13の速度演算結果を強制的に零に切り替える動作を行うものである。SRラッチA15は波形整形回路A1のエッジトリガjによりセットし、速度制御周期タイマA5のサンプルトリガ信号によりリセットするもので、このSRラッチの機能は、サンプル周期(i-1→i)の期間に1つ以上のパルスエッジが存在する場合には、サンプルタイミング(i)の時点で”1”を出力し、サンプル時の演算直後にリセットされる。これにより、後述する負荷トルクオブザーバのデータの更新の可否を制御することができる。

【0016】次に機械系のモデル速度演算部22について述べる。この機械系のモデル速度演算部22は、トルク指令 $\tau^*$ と負荷トルク推定値 $\hat{\tau}_L$ (以下推定値には $\wedge$ 印を付す)との差を求める第5減算器221と、サンプル周期 $T_s$ とモータや負荷の慣性などより求められる機械的時定数 $T_m^*$ との比を乗算する係数乗算器222と、この係数乗算器222の出力をサンプル周期毎に積算する累算器223とにより構成される。前記機械系のモデル速度演算部22は出力にサンプル時刻iの時点でのモデル速度 $\omega_m'(i)$ を送出する。

【0017】23は平均化処理部で、特にモデル速度の平均化処理演算を行う。負荷トルクオブザーバにおいては、モデル速度と検出速度との差を求める後述する減算器A22が必要である。しかし、速度検出 $\omega_n(j-1 \rightarrow j)$ は(j-1→j)期間の平均値で出力されるのに対し、モデル速度 $\omega_m'(i)$ は時刻(i)の瞬時値である。このため、速度検出期間の時間的な整合が取れない。そこで、モデル速度についても、速度検出期間(j-1→j)と同一期間での平均値 $\omega_m'(j-1 \rightarrow j)$ を求めるものである。この処理部内では、次のA18からA21により構成されており、モデル速度の平均値を演算する。A18はモデル位相角出力部で、この出力部A18は、モデル速度 $\omega_m'(i)$ にサンプル周期期間 $T_s$ を乗算して、サンプル期間の進み角に変換する乗算器224と、その進み角の位相角を累算し出力にモデルの位相角 $\theta_m'(i)$ を送出する累算器225とで構成される。

【0018】A19は第5ダブルラッチで、この第5ダブルラッチA19はモデル位相角出力部A18の出力位相角を第1ダブルラッチA6と同一のタイミングでラッチする。A20は第6ダブルラッチで、第2ダブルラッチA7と同一のタイミングで第5ダブルラッチA19の前回値を保持するものである。A21は第5、第6ダブルラッチA19とA20との位相差を零速判定部A12の時間差で除算し、出力にモデル平均速度 $\omega_m'(j-1 \rightarrow j)$ を送出する除算器である。

【0019】最後に負荷トルク推定部24について述べる。A22は減算器で、この減算器A22は平均化処理部23の出力であるモデル速度の平均値 $\omega_m'(j-1 \rightarrow$

j)と速度検出 $\omega_n(j-1 \rightarrow j)$ との差を演算し誤差速度を演算するものである。A23は切り替えスイッチで、このスイッチA23はSRラッチA15が”1(パルスが発生している)”である場合には、減算器A22の誤差速度を選択出力し、SRラッチA15の出力が”0(パルスが欠けている)”場合は減算器A22の出力を無視して、前回値を続けて出力するものである。A24は係数乗算器で、この係数乗算器A24は切り替えスイッチA23により選択された速度誤差にオブザーバゲインG1を乗算して出力に負荷トルク推定値 $\hat{\tau}_L$ を出力するものである。

【0020】

【発明が解決しようとする課題】上述した負荷トルクオブザーバ方式では、回転速度が十分に速くてパルスがサンプル周期毎に発生する場合には、図9に示す切り替えスイッチA23は、検出誤差を毎回更新することができるため、常に最新の負荷トルク推定値が得られるようになる。しかし、回転速度が極低速域や零速検出領域になるとサンプル周期毎にパルスが発生しなくなり、負荷トルク推定値は前回値を保持してしまう。このようなときには、従来は負荷トルクの推定ができないという現象が生じてしまう問題がある。

【0021】上記のように極低速域で負荷トルクオブザーバの推定が停止してしまうと、インパクトドロップ補償や、零速オブザーバの性能の低下という問題も引き起こしてしまう恐れがある。もし、負荷トルクの推定限界速度を引き下げることができれば、極低速域の特性が改善可能となり、特に、ロボットや工作機械の位置決めなどのように低速域での特性が要求される用途などの特性向上に有効である。

【0022】次に負荷トルクオブザーバを用いた極低速域の速度推定の場合の問題点について述べる。動摩擦トルクに比べ静止摩擦トルクの値が大きい場合には、零速域で回転していないにもかかわらず、速度推定は回転していると推定する現象が発生する。この対策としては、速度制御周期毎にエンコーダパルスが検出できたと仮定したときの速度予測値を用いて、速度推定値にリミットをかけている。

【0023】モータが逆転から正転に変化する場合の速度変化を図10に示す。なお、図10においては、分かりやすいように速度制御演算は無視して、一定トルク指令状態と近似してある。ここで、図10の(a)時点では逆転状態であり、トルク指令が正方向に与えられているため、トルク指令と動摩擦トルクとの差により、回転速度は減速して行く。速度が低下するにつれてエンコーダパルスの発生間隔は長くなり、ついに図10の(b)時点で発生しなくなる。速度検出はこの時点が最終値となり、このときのモデル速度との差より負荷トルクを推定したものが保持されてしまう。ところが、図10の(c)時点で実回転速度が零になると動摩擦トルクが静

(5)

特開平9-113528

止摩擦トルクに変化するため、負荷トルクが急に大きくなる。そして、モータトルクと釣り合うため零速のままになってしまう。しかし、速度検出がないため、負荷トルクオブザーバは、上記摩擦トルクの変動を推定できず、図10の(b)時点の値を相変わらず保持したままの状態となる。

【0024】このことが要因となって、次のような速度推定の誤差が生じてくる。モデル速度はモータトルクから推定負荷トルクを減算した推定加速トルクを機械時定数に乗じて積分して求めているが、速度検出と、推定負荷トルクが図10の(b)時点以降保持された状態のままなので、いつまでたってもモデル速度は直線的に変化し続ける。そして、図10の時点(c)を過ぎても正転に変化してそのまま推定値は加速して行くことになる。このように、エンコーダパルスが無くなる極低速域で負荷トルク推定を保持し続けると、静止摩擦により実速度は零であるにもかかわらず、速度オブザーバの推定速度が加速してしまう異常が発生する。

【0025】この状態を最終パルスの発生時刻から現在の制御時間までの時間差を用いて、エンコーダパルスが発生しない場合にも、ちょうど今パルスが発生した場合の予測速度を計算して、予測値にリミットをかけた具体的な制御ブロックを図11に示す。図11は図9に予測速度演算部30と推定速度リミッタ部31を設けたもので、予測速度演算部30は第3ダブルラッチA9間の入出力の減算器30aと除算器30bからなり、推定速度リミッタ部31は $\omega_m'(i)$ と $\Delta\omega$ との減算器31aと、この減算器31aの出力を前記予測速度演算部30から出力される予測速度でリミットをかけるリミッタ31bとから構成される。ここで、 $\Delta\theta_{pp}$ はエンコーダのパルス間隔の角度である。

【0026】この図11のように構成すると、速度推定値は予測速度により制限されるが、このリミットのかかっている期間でもモデル速度は前述のように加速したままとなっている(トルク制御モードなどのように、トルク指令が一定の場合)。そこで、リミット条件下では、次に速度検出が可能になったときに異常にならないように、モデル速度の値も零速付近に補正しておかねばならない問題がある。このように、従来は負荷トルクの推定ができない現象と、零速時の速度推定の異常現象が生じる問題があった。

【0027】この発明は上記の事情に鑑みてなされたもので、エンコーダパルスが速度制御周期毎に発生しないような極低速域や零速判定域においても、補正動作開始が早くなるようにして安定に動作させるようにした速度検出制御装置を提供することを目的とする。

【0028】

【課題を解決するための手段】この発明は、上記の目的を達成するために、第1発明に使用する可変速駆動装置は、次のように構成されている。電動機の回転軸に取り

付けられたエンコーダからの出力パルスをカウントして回転位相を検出し、エンコーダの出力パルスから位相と発生時刻をラッチして、前回のラッチデータとの位相差と時間差により速度検出部で速度検出を行う。一方、トルク指令とトルク推定との差である加速トルクと負荷の慣性による機械時定数によりモデル速度演算部でモデル速度を演算し、このモデル速度演算出力の平均値を前記速度検出部でラッチした時間差の期間だけ第1の平均化処理部で演算する。この第1の平均化処理部からのモデル速度の平均値と前記速度検出部からの速度検出出力とを減算し、その差をゲイン部を介して出力にトルク推定出力を送出する負荷トルク推定部とを備えたものであって、このように構成された可変速駆動装置には以下のような構成が設けられている。

【0029】前記エンコーダからの出力パルスが発生しないとき、最終発生パルスの時刻と現在時刻との期間におけるモデル速度出力の平均値を演算する第2の平均化処理部を設け、前記エンコーダからの出力パルスが発生しないとき、エンコーダの1パルス相当の位相差を最終発生パルスの時刻と現在時刻の間の時間で除算器で除算して、予測速度を得る予測速度演算部を設け、前記速度検出部からの速度検出出力が供給され、前記予測速度演算部からの予測速度により、前記速度検出出力を一定の範囲内に保持するリミッタ回路を設け、このリミッタ回路のリミット範囲と同じ範囲に設定され、前記モデル速度演算部からのモデル速度出力が設定値より大きいことを検出するコンパレータ回路と、このコンパレータ回路の出力が生じたときに、前記第1の平均化処理部の平均値出力を第2の平均化処理部の平均値出力に切り替える第1の切り替えスイッチと、この第1の切り替えスイッチにより切り替えられる平均値出力と前記モデル速度演算部出力および前記リミッタ回路からの出力と零速度を前記予測速度演算部に設けられた零速判定部からの零速判定出力により切り替えて前記負荷トルク推定部に入力する第2および第3の切り替えスイッチと、前記モデル速度演算部からのモデル速度と前記負荷トルク推定部に入力された差出力との減算から推定速度を得る減算部とを備えてなることを特徴とするものである。

【0030】第2発明は、前記コンパレータ回路は前記減算部から得られた推定速度出力に応じて切り替えられることを特徴とするものである。

【0031】

【発明の実施の形態】以下発明の実施の形態を図面に基づいて説明するに、図9と同一部分は同一符号を付して示す。図1は発明の実施の第1形態を示すブロック構成図で、この図1はパルスが間欠的に発生する極低速域でエンコーダパルスの発生しない期間と、完全に停止した期間とにおいて有効な対策をおこなった形態である。この第1形態の場合を述べる前にまず、モータは極低速域において回転しており、エンコーダパルスが時々発生

(6)

特開平9-113528

する条件について考える。パルスが発生しないサンプル周期間では速度検出はできないが、次の条件を仮定して、従来と同様な速度演算を行ってみる。

【0032】仮定1：サンプル時刻(i)の直後にエンコーダパルスが発生するものと仮定し、 $t(j+1) = t(i)$ と近似する。

【0033】仮定2：位相差としてロータリーエンコー

$$\omega_m(j \rightarrow i) = \Delta\theta_{pp} / (t(i) - t(j)) \quad \dots (2)$$

$$\Delta\theta_{pp} = 2\pi / (1 \text{ 回転の相パルス数}) \quad \dots (3)$$

パルスが発生しなくなった当初のサンプル時点では $\{t(i) - t(j)\}$ の時間間隔が短いため、前回の速度検出のホールド値 $\omega_m(j-1 \rightarrow j)$ に比較して(2)式の値はかなり大きな値となる。しかし、実際のモータの回転速度が $\omega_m(j-1 \rightarrow j)$ の値より小さい場合には、しばらくすると(2)式の値が $\omega_m(j-1 \rightarrow j)$ より小さくなっていく。もし、実際のモータが前回の速度検出のホールド値 $\omega_m(j-1 \rightarrow j)$ の速度で回り続けているならば、丁度(i)の時刻で1個以上のパルスが発生する筈である。また、これより速度が速くなっている場合には(i)の時刻より前に1個以上のパルスが発生しなければならない。このように(2)式の値が前回値より小さくなくても、まだエンコーダのパルスが発生しないということから、現在の回転速度は $\omega_m(j-1 \rightarrow j)$ 以下と判断できる。

【0036】ここで、速度検出は正負の場合があるので、常に正の値である(2)式の計算結果と、その負の値との間に前回の速度検出のホールド値 $\omega_m(j-1 \rightarrow j)$ が存在するようにリミットして速度検出を補正したものを有効な速度検出情報として使用する。

【0037】以上述べた速度情報を用いて、負荷トルクオブザーバを更新することができるとともに速度推定ができる構成のブロック図が図1である。この図1において、まず、前述した仮定1の条件を設定し、(2)式の分母である時間 $t(j \rightarrow i)$ を求めるため、(i)のサンプル時の基準時刻カウンタA4の基準時刻と、前回の発生エッジの時刻 $t(j)$ (第3ダブルラッチA9の出力)との差を、減算器C1で減算する。この時間差を用いて零速判定部C2により零速判定する。また、前記時間差は除算器C3に供給され、ここで、(2)式の分子に相当する $\Delta\theta_{pp}$ (1パルス位相)を $\Delta t(j \rightarrow i)$ で除算し、上限速度をリミット回路C5に設定する。リミット回路C5の下限速度は定数回路30を介して設定する。前記零速判定部C2の零速判定結果 $Z_0(j \rightarrow i)$ が“1”の場合は(零速の場合)、強制的に(2)式の結果を零とし、零速判定部C2の判定結果が“0”の場合はモータが回転中と判断する。なお、減算器C1、零速判定部C2および除算器C3とで予測速度演算部25が構成される。

【0038】モデル速度側も(2)式と同じ期間の平均値を求める必要があるため、減算器C9により位相差 $\Delta$

の1パルス相当の角度 $\Delta\theta_{pp}$ が仮定1での $(j \rightarrow j+1)$ 期間に発生する。ここで、 $\Delta\theta_{pp}$ は前回の速度検出 $\omega_m$ と同一の符号を持つものとする。

【0034】上記のように仮定すると、(i)の時刻にパルスが発生したと仮定した場合の $(j \rightarrow i)$ 区間の速度は次の(2)式で計算できる。

【0035】

$$\omega_m'(j \rightarrow i) \text{ を求め、この位相差を除算器C10に}$$

より除算器C3と同じ時間で除算し、第2の平均化処理部26を構成する。この第2の平均化処理部26の出力と第1の平均化処理部23aの出力は切り替えスイッチTSW1の「1」側と「0」側に供給される。この切り替えスイッチTSW1の出力はコンパレータ回路CP1の出力により選択される。コンパレータ回路CP1にはモデル速度 $\omega_m'$ が供給され、このモデル速度 $\omega_m'$ がコンパレータ回路CP1に設定された予測速度以上になると(すなわちモデル速度が異常加速した判定したとき)、「1」出力が生じて切り替えスイッチTSW1の出力として「1」側を選択する。これにより、平均モデル速度が切り替えられるため、負荷トルク推定部24への入力に変化し、トルク推定を再開する。

【0039】TSW2、TSW3は零速判定部C2が零速であると検出したとき(「1」のとき)に「1」側に切替える切り替えスイッチである。

【0040】上記のように構成することにより、パルスが間欠的に発生する場合には、リミット回路C5、コンパレータ回路CP1、切り替えスイッチTSW1が動作し、パルスが零速判定期間 $T_{max}$ 以上休止した場合には、切り替えスイッチTSW2、TSW3が動作するようになり、さらに、回転が低下し、停止した場合にはパルスが発生しない時間より零速判定部C2で零速を検出できるが、エンコーダパルスが発生しない期間でも、最終検出パルスによる検出速度より正確な速度情報を利用してトルク推定を更新するようになる。これにより、トルク推定の極低速域での動作停止期間が従来より短くなり、低速域での特性が改善される。

【0041】図1の回路による補償動作をパルスが間欠的に発生する極低速域で実際には極低速であるのに対してモデル速度が異常に加速する場合について述べる。モデル速度はパルスが無い場合でも継続して演算しており、モデル速度の第1の平均化処理部23aの積分出力部A18ではモデル速度を積分し続けている。そこでまず、エンコーダパルスが発生しない状態のまま、最後のパルス(j)の発生時刻のモデル位相と現在のモデル位相との差を減算器C9により求める。次に、この位相差がエンコーダの1パルス間隔相当の位相差より大きくなった場合を考えてみる。もし、前回の検出速度が今も継続して維持されているならば、このとき、エンコーダも



(7)

特開平9-113528

同時に次のパルスを出力する筈である。しかし、モデル速度が1パルス分進んだのにエンコーダパルスが発生しない場合はモデル速度の方が実速度より高い速度であると判断できる。つまり、モデル速度と実速度の大小関係という情報が得られるようになる。そこで、このような情報があるのなら、これを用いてトルク推定を更新することもでき、より正確な方向にトルク推定が補正可能となる。トルク推定を行うためには、速度検出側も何らかの値が必要であるが、今回のようにパルスが無い場合は、予測速度以下に実速度は存在するので、最終パルスによる速度検出値を予測速度以下に制限して使用する。このように予測値で、前回検出値の保持速度を制限すればより正確な速度検出情報となるこのように予測速度を用いて速度の検出側、モデル側とも補正をすることが特徴である。

【0042】次に、上記第1形態において、速度推定ができることについて述べる。通常のパルスが発生しており、正常に速度が検出されている場合は、モデル速度から、速度検出 $\Delta\omega$ と第1の平均化処理部23aによるモデル速度 $\omega_m'$ の推定値との差を減算器E1で減算して、その出力に推定速度 $\omega_m$ を得る。また、エンコーダから出力パルスが発生していないが、最終パルスからのモデルの位相差がエンコーダの1パルス相当の位相差より大きい場合には、モデル速度から予測速度に制限された速度検出値と第2の平均化処理部26の出力値との差を減算することにより速度推定を行う。これにより、エンコーダからの出力パルスが発生せず、かつ零速判定もされていない極低速域において、実速度より明らかにモデル速度の方が高速である条件下で、速度推定がより正確な方向に修正が可能となる。

【0043】図2はこの発明の実施の第2形態を示すブロック構成図で、この第2形態はコンパレータ回路CP1への入力に推定速度を供給したもので、この推定速度の場合においても、第1形態とほぼ同様な作用効果が得られる。

【0044】

【発明の効果】以上述べたように、この発明によれば、エンコーダパルスが速度制御周期毎に発生しないような極低速域や零速判定域においても、負荷トルク推定が可

能となり、負荷トルク推定の誤差が少なくなる効果が得られるとともに、速度推定を行う用途に関しては、動摩擦と静摩擦トルクが、大きく異なる場合に発生する零速時の速度推定の異常現象が抑制され、速度推定が零速に収束される効果が得られる。また、この発明によれば、モデル速度や速度推定をコンパレータ回路の比較設定値としたので、切り替えスイッチ動作出力を得るのが早くすることができ、極低速域での補正動作開始を早くできるようになり、安定に動作する利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の実施の第1形態を示すブロック構成図。

【図2】この発明の実施の第2形態を示すブロック構成図。

【図3】負荷トルクオブザーバの原理ブロック図。

【図4】速度オブザーバの制御ブロック図。

【図5】ロータリエンコーダを用いた速度制御系のブロック図。

【図6】モータ回転速度検出部のブロック構成図。

【図7】図6のタイミングチャート。

【図8】零速度に到達する場合のタイミングチャート。

【図9】従来例の負荷トルクオブザーバのブロック構成図。

【図10】逆転から正転に変化する場合の速度変化を示す特性図。

【図11】予測値にリミットをかけた具体的な制御ブロック構成図。

【符号の説明】

21…速度検出部

22…モデル速度演算部

23…平均化処理部

23a…第1の平均化処理部

24…負荷トルク推定部

25…予測速度演算部

26…第2の平均化処理部

TSW1～TSW3…切り替えスイッチ

C2…零速判定部

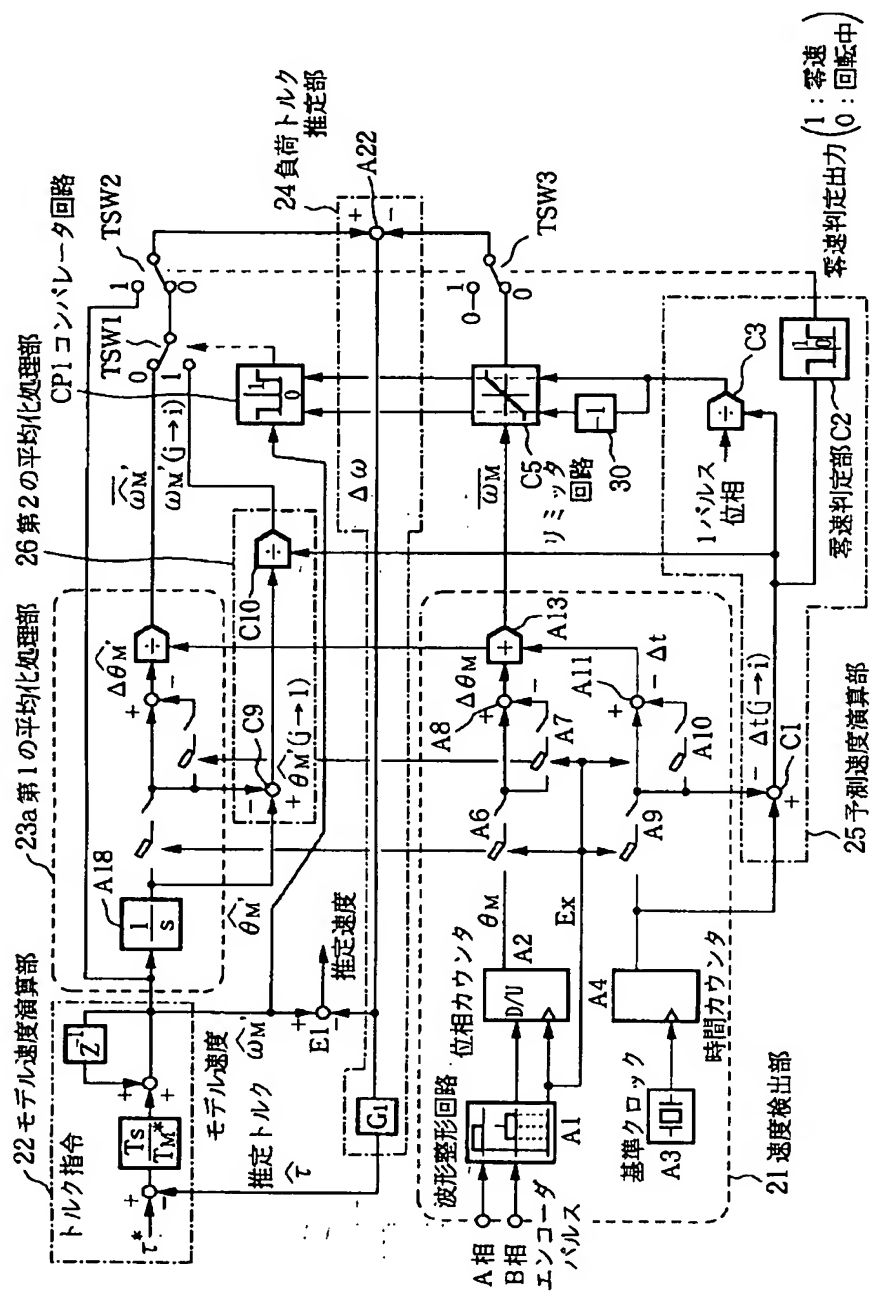
C5…リミッタ回路

CP1…コンパレータ回路



特開平9-113528

## 第1形態のブロック



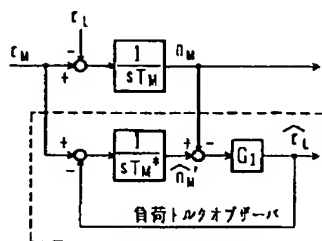


(10)

特開平9-113528

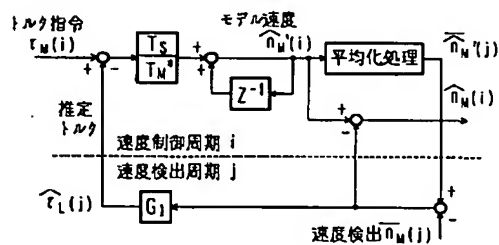
【図3】

負荷トルクオブザーバの原理



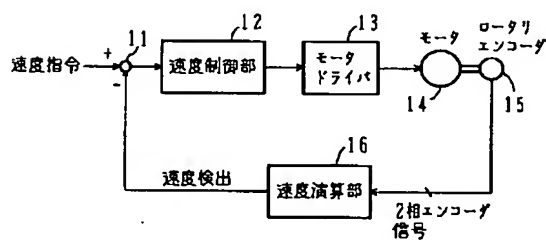
【図4】

速度オブザーバの制御



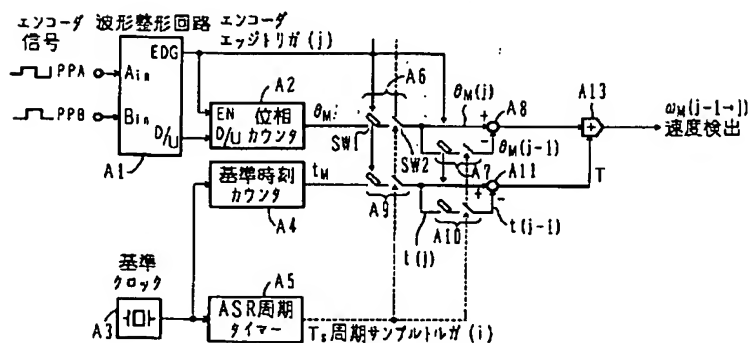
【図5】

ロータリエンコーダを用いた速度制御系



【図6】

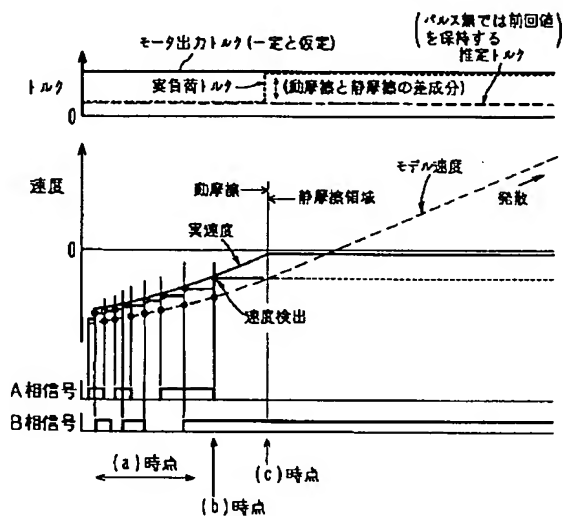
モータ回転速度検出部



特開平9-113528

【図10】

### 逆転から正転に変化する場合の速度変化



【図8】



